

## ANALISIS LAJU KOROSI BAJA KARBON MATERIAL 20G DAN A210 A1

Fajar Cahyadi Rajendra<sup>1</sup>, Dafit Feriyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: fajarcahyadirajendra@gmail.com

**Abstrak--** Kualitas kimia feedwater pada siklus air dan uap tertutup harus dijaga sedemikian rupa sesuai standar yang telah ditetapkan untuk menjaga keandalan operasi pembangkit. Kebocoran pipa kondensor merupakan salah satu penyebab terjadinya kontaminasi air laut pada feedwater. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai laju korosi terhadap lingkungan NaCl 3,5 % dan mengetahui bentuk struktur mikro material 20 G dan A210 A1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan pengujian korosi polarisasi potensiodinamik pada rentang potensial -1000 mV s.d. 1000 mV dengan scan rate 5 mV/s, pengujian scanning electron microscope dan pengujian metalografi. Hasil pengujian korosi menunjukkan nilai laju korosi pada larutan NaCl 3,5 % material 20G sebesar 0,00018328 mmpy dan material A210 A1 sebesar 0,00011301 mmpy. Ketahanan korosi material A210 A1 lebih baik dari material 20G karena memiliki kandungan kromium (Cr) sebesar 0,0408% dan nikel (Ni) sebesar 0,0271%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa material A210 A1 lebih baik dari 20G dalam ketahanan terhadap korosi.

**Kata kunci:** Korosi, laju korosi, baja karbon, pipa boiler

**Abstract--** The quality of chemical feedwater must be maintained during the operation of the power plant. One of the causes of chemical contamination of feedwater is a leak in the condenser tube. Leaks in the condenser tube will cause seawater to enter so that it will have an impact on the risk of corrosion attack on the boiler tube. This study aims to determine the value of the corrosion rate to the environment (NaCl 3.5%) and to determine the microstructure of the material 20 G and A210 A1. The research was conducted using potentiodynamic polarization corrosion testing in the potential range of -1000 mV to 1000 mV with a scan rate 5 mV/s. The corrosion test results showed that the corrosion rate of 3.5% 20G NaCl solution was 0.00018328 mmpy and A210 A1 material was 0.00011301 mmpy. The corrosion resistance of A210 A1 material is better than 20G material because it contains 0.0408% chromium (Cr) and 0.0271% nickel (Ni). The results of the observation of the sample surface that the type of corrosion is uniform corrosion. The results of this study indicate that A210 A1 material is better than 20G in corrosion resistance.

**Keywords:** Corrosion, corrosion rate, carbon steel, boiler tube

### 1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi mekanik dari uap untuk memutar turbin yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Prinsip kerja dari PLTU menggunakan siklus air dan uap tertutup. Air dari *feedwater tank* akan dipompa menuju *boiler* untuk dipanaskan. Uap hasil produksi *boiler* akan diarahkan menuju turbin uap. Energi mekanik dari uap tersebut dimanfaatkan untuk memutar turbin yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Generator yang dikopel langsung dengan turbin kemudian merubah energi listrik tersebut menjadi energi listrik. Setelah uap digunakan untuk memutar turbin, selanjutnya uap akan dikondensasikan menjadi fasa cair yang kemudian akan disirkulasikan kembali pada sistem *boiler* [1].

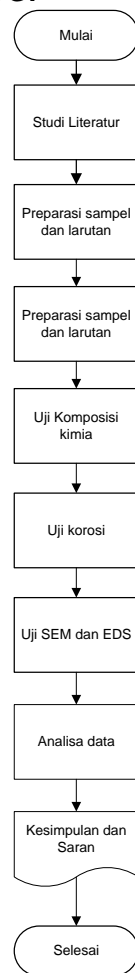
Pada siklus air dan uap tertutup, kualitas kimia air *feedwater* harus dijaga sedemikian rupa

sesuai standar yang telah ditetapkan untuk menjaga keandalan operasi pembangkit. Salah satu penyebab terkontaminasinya kimia air *feedwater* yaitu adanya kebocoran pipa kondensor. Kebocoran pada pipa kondensor akan menyebabkan masuknya air laut dan mengkontaminasi *feedwater* sehingga akan berdampak pada resiko serangan korosi pada pipa *boiler*. Korosi adalah kerusakan logam yang terjadi akibat adanya reaksi logam terhadap lingkungan yang korosif. Pipa *boiler* area *waterside* menggunakan material baja karbon rendah seperti material 20G dan A210 A1 yang rentan terhadap korosi jika *feedwater* terkontaminasi air laut. Kebocoran pada pipa kondensor biasanya disebabkan oleh: *material defect*, korosi, abrasi, erosi dan kerusakan akibat benda asing. Korosi biasanya akan menghasilkan produk korosi berupa deposit yang melapisi sisi dalam *pipa* yang menyebabkan proses perpindahan panas *pipa* sehingga dapat

mengakibatkan *overheating* pada pipa *boiler* [2]. Secara umum yang menyebabkan kerusakan material akibat korosi disebabkan oleh kondisi lingkungan seperti atmosfer, kondisi asam, air laut, larutan inorganik asam dan basa serta kelembapan [3].

Kebocoran pipa kondensor merupakan salah satu penyebab masuknya air laut pada siklus air *feedwater* dan pipa *boiler area waterside* menggunakan material baja karbon rendah yang rentan terhadap korosi jika *feedwater* terkontaminasi air laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai laju korosi terhadap lingkungan NaCl 3,5 % material 20 G dan A210 A1. Metode uji korosi yang digunakan adalah metode polarisasi potensiostatik dengan larutan elektrolit NaCl 3.5%.

**2. METODOLOGI**



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

Alur proses penelitian dilakukan secara sistematis seperti yang ditunjukkan diagram alir

pada Gambar 1. Adapun metode yang digunakan selama penelitian adalah sebagai berikut:

- a. **Mulai**  
Mulai adalah tahapan awal dalam melakukan proses penulisan tugas akhir ini. Pada tahapan ini dilakukan proses pencarian ide atau judul penelitian yang akan dilakukan, menentukan ruang lingkup dari penelitian tersebut dan proses persiapan lainnya.
- b. **Studi literatur**  
Studi literatur adalah tahapan pencarian, pengumpulan dan pengolahan literatur yang sesuai dengan tema penelitian. Literatur yang digunakan sebagai referensi atau rujukan penelitian ini bersumber dari jurnal ilmiah, hasil penelitian lainnya, buku dan artikel ilmiah yang berkaitan dengan penelitian
- c. **Preparasi sampel dan larutan elektrolit**  
Preparasi sampel dilakukan untuk mengkondisikan sampel sesuai standar pengujian korosi. Preparasi sampel uji berupa proses pemotongan, dan pembersihan permukaan dari lapisan *coating*. Pembuatan larutan elektrolit NaCl 3,5 % yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu dengan mencampurkan 1000 ml aquades dengan 35 g NaCl.
- d. **Pengujian komposisi material**  
Pengujian komposisi kimia material dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia pada suatu bahan/material. Pengujian komposisi kimia menggunakan metode *spark atomic emission spectrometry* dengan alat PMI Master Pro – Oxford instrument dengan mengacu pada standar pengujian ASTM E415 [6].
- e. **Pengujian korosi**  
Pengujian korosi pada penelitian ini menggunakan metode polarisasi potensiostatik dengan larutan NaCl 3,5% pada rentang potensial -1000 mV sampai 1000 mV dan *scan rate* 5 mV/s.
- f. **Pengujian SEM**  
Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengamati permukaan sampel uji setelah dilakukan pengujian korosi.
- g. **Analisis data**  
Analisis data pada penelitian ini yaitu analisis laju korosi dan struktur mikro. Analisis laju korosi dilakukan untuk mengetahui laju korosi dari sampel uji. Sedangkan analisis

struktur mikro yang dilakukan yaitu mengetahui jenis fasa pada sampel uji.

#### h. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan dan saran berisi rangkuman hasil penelitian dan saran mengenai apa saja yang perlu ditingkatkan dalam penelitian selanjutnya yang memiliki tema sama dengan penelitian ini. dari penelitian ini.

## PEMBAHASAN

### 3.1. KOMPOSISI KIMIA MATERIAL

Tabel 1. Hasil uji komposisi material

Unsur	Hasil Pengujian (%)	
	20G	A210 A1
Fe	98,9	98,7
C	0,207	0,211
Si	0,269	0,258
Mn	0,536	0,635
P	<0,0050	< 0,0030
S	<0,0030	< 0,0020
Cr	0	0,0408
Mo	<0,0040	0,003
Ni	0,0178	0,0271
Al	<0,0020	0,0208
Co	<0,0020	< 0,0020
Cu	0,067	0,0764
Nb	<0,0030	< 0,0020
Ti	<0,0010	< 0,0010
V	<0,0020	< 0,0010
W	<0,0250	< 0,0400
Pb	<0,0150	< 0,0150
Sn	0,0089	0,0035
B	<0,0010	< 0,0010
Zr	0,0043	< 0,0020
As	<0,0050	0,0081
Bi	<0,0250	< 0,0250

Pengujian komposisi kimia material dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia pada suatu bahan/material. Pengujian komposisi kimia menggunakan metode *spark atomic emission spectrometry* dengan alat PMI Master Pro – Oxford instrument. Komposisi kimia sampel material 20G akan dibandingkan dengan standar GB/T 5310 [7] dan material A210 A1 akan dibandingkan dengan standar ASTM A210 Grade A1 [8]. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah nilai komposisi kimia sampel uji sesuai dengan standar yang ditetapkan. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa sampel material 20G memenuhi standar GB/T 5310 dan sampel material A210 A1 memenuhi standar ASTM A210 Grade A1 seperti pada tabel 1. Kandungan karbon pada material 20G sebesar 0,207 % dan material A210 A1 sebesar 0,211 %. Kedua material tersebut masuk dalam kategori material baja karbon rendah karena nilai karbon dibawah 0,3 % [4]. Jumlah kandungan karbon pada paduan baja akan berpengaruh terhadap kekerasan dan keuletan logam tersebut. Baja karbon rendah memiliki karakteristik keuletan yang tinggi tetapi tingkat kekerasannya rendah dan tidak tahan terhadap keausan.

### 3.2. ANALISIS LAJU KOROSI

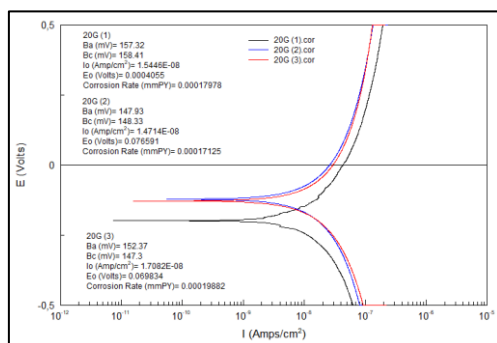
Pengukuran laju korosi pada penelitian ini menggunakan metode polarisasi potensiodinamik dengan nilai potensial pengujian berada di rentang -1000 mV s.d. 1000 mV dengan *scan rate* 5 mV/s. Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan NaCl 3,5%. Penggunaan larutan NaCl 3,5 % bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pipa *boiler* ketika terjadi kontaminasi *feedwater* oleh air laut akibat kebocoran kondensor. Masuknya air laut pada sistem *feedwater* dapat diketahui dari naiknya nilai konduktivitas air tersebut. Nilai konduktivitas air yang diijinkan pada sistem *feedwater* berkisar antara < 80  $\mu$ S/cm dan pH larutan berkisar antara 8,8 – 9,6. Larutan NaCl yang digunakan pada penelitian ini memiliki konduktivitas sebesar 9,05 mS/cm dan pH larutan sebesar 9,29 seperti yang ditampilkan pada tabel 2. Konduktivitas adalah kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik sehingga konduktivitas suatu larutan elektrolit akan mempengaruhi kecepatan transfer elektrik dalam elektrolit tersebut. Dalam pengujian korosi elektrokimia, kecepatan reaksi akan sangat tergantung dari konduktivitas dari larutan elektrolit. Konduktivitas yang baik akan mengakibatkan reaksi elektrokimia berlangsung

dengan cepat sehingga kinetika proses korosi material akan berlangsung dengan cepat [5].

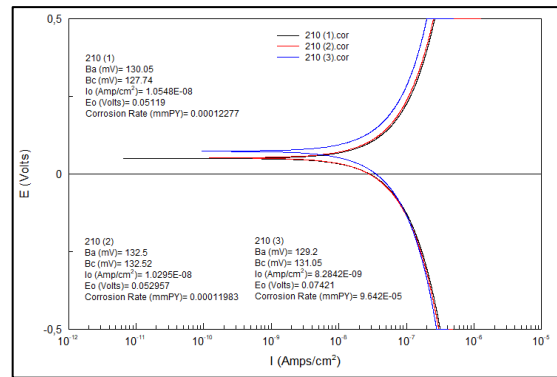
**Tabel 2.** Hasil uji pH dan konduktivitas larutan

Larutan Elektrolit	Hasil Pengujian	
	pH	Konduktivitas (mS/cm)
Larutan NaCl 3,5 %	9,29	9,05

Pengujian polarisasi potensio dinamik digunakan untuk mengukur selisih beda potensial antara potensial elektroda dengan potensial korosi bebas suatu logam pada larutan elektrolit. Untuk mendapatkan nilai laju korosi pada metodepolarisasi, beberapa hal yang perlu diketahui antara lain nilai potensial korosi ( $E_o$ ), rapat arus korosi ( $I_o$ ), *equivalent weight* logam dan densitas logam. Nilai parameter potensial korosi ( $E_o$ ) dan rapat arus korosi ( $I_o$ ) dapat diketahui pada kurva tegangan fungsi arus atau kurva polarisasi seperti pada gambar 2 dan 3. Nilai potensial korosi ( $E_o$ ) adalah keadaan ketika logam berada dalam kondisi terkorosi secara bebas. Titik perubahan dari kerapatan arus negatif menjadi positif merupakan nilai dari potensial korosi ( $E_o$ ). Nilai rapat arus korosi ( $I_o$ ) pada pengujian dapat diketahui dengan cara mengekstrapolasikan pada bagian linier tetapan anoda tafel ( $\beta_a$ ) dan tetapan katoda tafel ( $\beta_c$ ). Titik perpotongan dari garis tetapan anoda tafel dan tetapan katoda tafel disebut nilai rapat arus korosi ( $I_o$ ). Semakin tinggi rapat arus korosi maka semakin tinggi nilai laju korosi logam tersebut dan begitu juga sebaliknya.



**Gambar 2.** Kurva tafel material 20G



**Gambar 3.** Kurva tafel material A210 A1

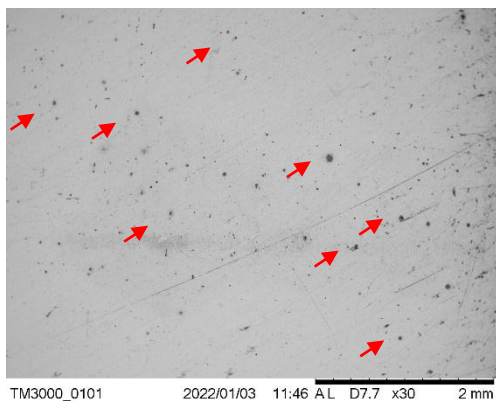
Hasil pengujian korosi polarisasi potensiodinamik dapat dilihat pada tabel 3. Untuk hasil pengujian korosi polarisasi potensiodinamik material 20G diketahui bahwa nilai rata-rata parameter rapat arus korosi ( $I_o$ ) sebesar  $0,015747 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , potensial korosi ( $E_o$ ) sebesar  $0,048944 \text{ V}$  serta laju korosi sebesar  $0,00018328 \text{ mmpy}$ . Untuk hasil pengujian korosi polarisasi potensiodinamik material A210 A 1 diketahui bahwa nilai rapat arus korosi ( $I_o$ ) sebesar  $0,009709 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , nilai potensial korosi ( $E_o$ ) sebesar  $0,059452 \text{ V}$  serta laju korosi sebesar  $0,00011301 \text{ mmpy}$ . Berdasarkan nilai laju korosi, ketahanan terhadap korosi pada material A210 A1 pada larutan NaCl 3,5% lebih baik daripada material 20G. Hal tersebut disebabkan oleh adanya kandungan unsur kromium (Cr) sebesar 0,0408 % dan unsur nikel (Ni) sebesar 0,0271 %. Unsur kromium (Cr) dan nikel (Ni) pada baja memiliki pengaruh untuk meningkatkan ketangguhan, kemampuan untuk dikeraskan, tahan terhadap temperatur tinggi dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Laju korosi dapat digunakan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap korosi dalam lingkungan tertentu. Berdasarkan tabel hubungan laju korosi dengan ketahanan korosi, ketahanan korosi material 20G dan A210 A1 di lingkungan NaCl 3,5 % masuk dalam kategori sangat baik ( $< 0,02 \text{ mmpy}$ ). Pengujian korosi dilakukan di laboratorium pada temperatur ruangan sekitar  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kondisi tersebut akan berbeda dengan kondisi aktual di lapangan terutama saat boiler beroperasi. Boiler beroperasi pada temperatur dan tekanan tinggi sehingga kondisi saat beroperasi akan mempercepat terjadinya korosi.

**Tabel 3.** Hasil uji korosi 20G dan A210 A1

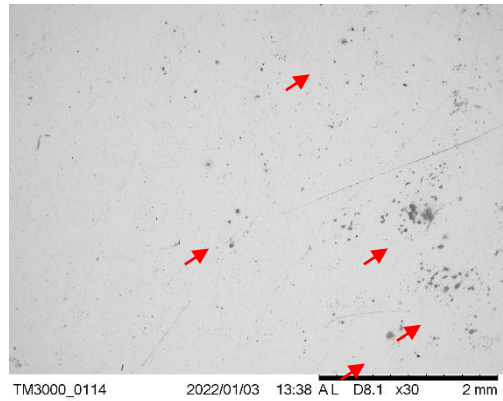
Parameter	Hasil Pengujian	
	20G	A210 A1
$\beta_a$ (mV)	152,54	130,58
$\beta_c$ (mV)	151,35	130,44
$I_o$ ( $\mu A/cm^2$ )	0,015747	0,009709
$E_o$ (V)	0,048944	0,059452
Corr. rate (mmpy)	0,00018328	0,00011301

**3.3. PENGUJIAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)**

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengamati permukaan sampel uji setelah dilakukan pengujian korosi. Pengujian SEM menggunakan mikroskop elektron yang mencitrakan permukaan dengan pemindaian pancaran tinggi elektron. Hasil pengamatan permukaan sampel menggunakan SEM setelah dilakukan pengujian korosi pada media larutan NaCl 3,5 % menunjukkan bahwa jenis korosi yang menyerang material 20G dan A210 A1 adalah korosi seragam (*uniform corrosion*). Pada gambar 4 dan 5 terlihat titik-titik kecil hitam menunjukkan korosi pada permukaan material sampel. Pengamatan mikroskopis menunjukkan penyebaran titik-titik korosi pada material 20G lebih banyak dari material A210 A1. Hal tersebut sebanding dengan nilai laju korosi material 20G nilai yang lebih besar dari material A210 A1.



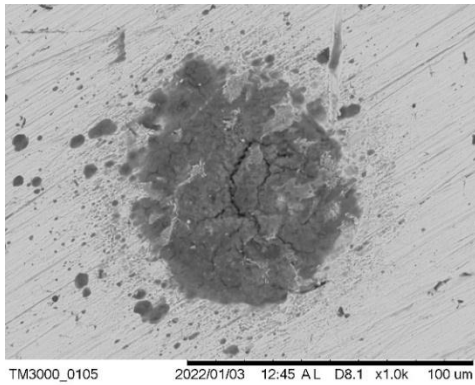
**Gambar 4.** Hasil uji SEM material 20G;



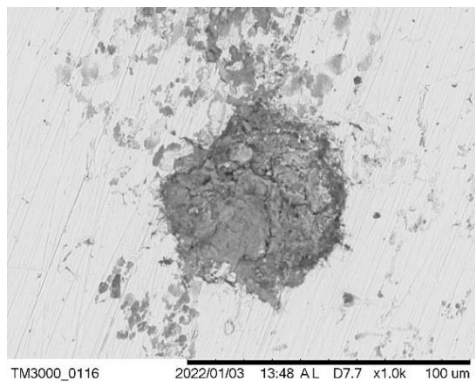
**Gambar 5.** Hasil uji SEM material A210 A1

**3.4. PENGUJIAN ENERGY DISPERSIVE SPECTROSCOPY (EDS)**

Pengujian *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) adalah salah satu teknik mengidentifikasi unsur atau komposisi kimia bahan dengan cara analisis spektroskopi spektrum atom sampel yang dianalisis menggunakan mikroskop elektron. Kelebihan EDS dalam identifikasi komposisi kimia adalah mampu melakukan analisis untuk sampel yang memiliki ukuran sangat kecil. Pengujian EDS dilakukan pada produk korosi setelah pengujian korosi elektrokimia (Gambar 6 dan 7). Hasil pengujian EDS pada produk korosi material 20G diketahui bahwa unsur yang terkandung antara lain: *ferrous* 54,49 %, *oxygen* 30,14 %, *magnesium* 2,41 %, *aluminum* 7,23 %, *silicon* 1,80 %, *sulfur* 0,84 %, *calcium* 3,34 %, dan *manganese* 0,77%. Untuk hasil pengujian EDS pada produk korosi material A210 A1 diketahui bahwa unsur yang terkandung antara lain: *ferrous* 62,17 %, *oxygen* 35,36 %, *magnesium* 0,45 %, *aluminum* 0,34 %, *silicon* 1,25 %, *calcium* 0,30 % dan *manganese* 0,30 %. Perbedaan unsur dan presentase unsur pada produk korosi dapat dipengaruhi oleh unsur material yang diuji dan kandungan mineral pada larutan elektrolit saat pengujian korosi. Produk korosi dapat diketahui dari adanya kandungan oksigen pada hasil EDS. Ketika logam besi mengalami korosi maka akan terjadi proses bertambahnya unsur oksigen atau oksidasi sehingga akan menghasilkan karat ( $Fe_2O_3$ ) yang berwarna merah.



Gambar 6. Titik uji EDS korosi material 20G



Gambar 7. Titik uji EDS korosi material A210 A1

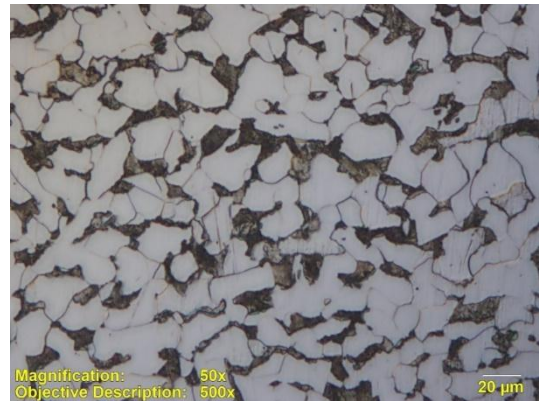
Tabel 4. Hasil uji EDS 20G dan A210 A1

Unsur	Weight (%)	
	20G	A210 A1
Oxygen	30,135	35,356
Magnesium	2,405	0,446
Aluminum	7,225	0,339
Silicon	1,796	1,247
Sulfur	0,844	-
Calcium	3,337	0,302
Manganese	0,767	0,299
Ferrous	53,491	62,012

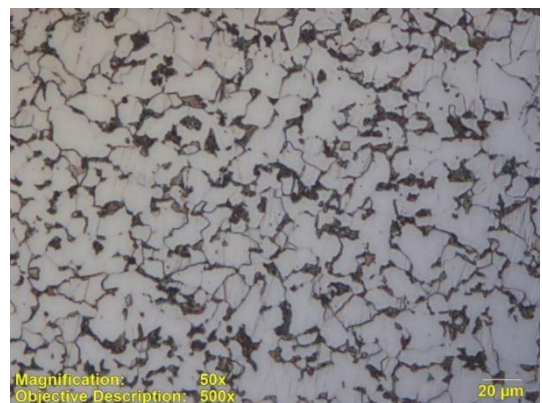
### 3.5. PENGUJIAN METALOGRAFI

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengamati struktur mikro suatu logam dan karakteristiknya. Pengujian metalografi sangat

penting untuk mengetahui ukuran butir, distribusi fasa, cacat mikro, inklusi (kotoran) dalam suatu logam dan lain-lain. Hasil pengujian metalografi menunjukkan bahwa material 20G dan A210 A1 memiliki struktur mikro fasa *ferrite pearlite*. Struktur mikro fasa *ferrite pearlite* akan terlihat seperti mutiara yang berada diantara batas butir. Pada gambar 8 dan 9 dapat dilihat untuk fasa *ferrite* yang merupakan kristal besi murni akan tampak berwarna terang dan fasa *pearlite* akan tampak berwarna gelap.



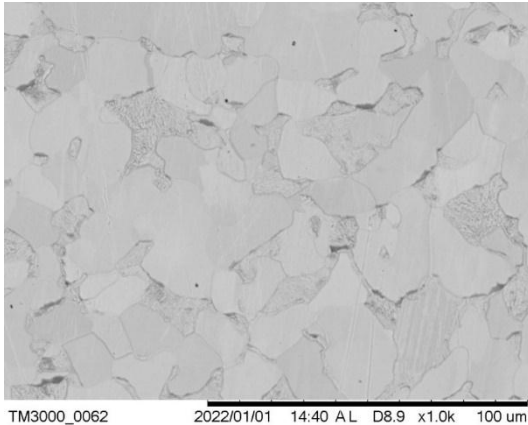
Gambar 8. Struktur mikro material 20G



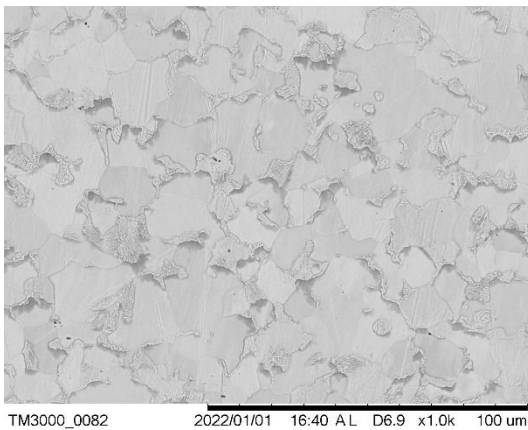
Gambar 9. Struktur mikro material A210 A1

Fasa *Pearlite* adalah perpaduan dari fasa *ferrite* dan *cementite* yang jika dilihat pada perbesaran 1000X memiliki bentuk yang pipih dan belapis-lapis (*lamellar*) seperti pada gambar 10 dan 11. Fasa *cementite* merupakan senyawa kimia yang membentuk besi karbida ( $Fe_3C$ ) dan memiliki kekerasan yang tinggi serta rapuh. Secara visual, fasa *cementite* akan tampak berwarna hitam yang menunjukkan kandungan unsur karbon pada material tersebut. *Cementite* akan meningkatkan kekerasan pada logam besi sesuai dengan jumlah proporsi dalam logam besi tersebut. Material logam yang memiliki struktur mikro fasa *ferrite pearlite* akan memiliki sifat

keuletan yang tinggi tetapi tingkat kekerasannya rendah dan tidak tahan terhadap keausan.



**Gambar 10.** Struktur mikro material 20G perbesaran 1000X



**Gambar 11.** Struktur mikro material A210 A1 perbesaran 1000X

3. Hasil pengujian metalografi menunjukkan bahwa material 20G dan A210 A1 memiliki struktur mikro fasa *ferrite pearlite*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Murti, M., Manuaba, I.B.G., Arjana, I.G.G. (2020). Optimasi Unit PLTU Berbahan Bakar Batubara Menggunakan Metode *Lagrange* di PT. Indonesia Power UP Suralaya. *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 7, No. 1 Maret 2020, 76-82.
- [2] Asof, A., & P, U. (2019). Analisis Korosi Pada Inside Water Wall Tube PLTU Tarahan Unit 3 Lampung. *Jurnal Powerplant*, 1 (1), 27-33.
- [3] Priyotomo, G. (2015). *Buku Praktis Korosi Dan Logam Untuk Mahasiswa*. Jakarta: Nulisbuku.
- [4] Amanto, H., Daryanto. (2006). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi aksara
- [5] Iandiano, D. (2011). *Studi Laju Korosi Baja Karbon Untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam Yang Mengandung CO2 Pada Lingkungan NaCl 0,5, 1.5, 2.5, dan 3,5%*. Thesis, Universitas Indonesia.
- [6] ASTM E415-21. (2021). *Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry*. United State: ASTM International.
- [7] GB/T 5310. (2017). *Seamless steel tubes and pipes for high pressure boiler*. China: National standard of the people's republic of china
- [8] ASTM A210/210M-02. (2012). *Standard Specification for Seamless Medium-Carbon Steel Boiler and Superheater Tubes*. United State: ASTM International

#### KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian dan analisis terhadap data yang telah diperoleh, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian komposisi material menunjukkan bahwa material 20G memiliki nilai karbon sebesar 0,207 % dan material A210 A1 memiliki nilai karbon sebesar 0,211 %.
2. Nilai laju korosi pada larutan NaCl 3,5 % material 20G sebesar 0,00018328 mmpy dan material A210 A1 sebesar 0,00011301 mmpy serta jenis korosi yang menyerang material 20G dan A210 A1 adalah korosi seragam (*uniform corrosion*).